

①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①② **Patentschrift**  
①⑩ **DE 42 00 170 C 2**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 01 S 11/14**  
F 42 B 23/24

②① Aktenzeichen: P 42 00 170.6-35  
②② Anmeldetag: 7. 1. 92  
④③ Offenlegungstag: 8. 7. 93  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 3. 11. 94

DE 42 00 170 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Rheinmetall GmbH, 40882 Ratingen, DE

⑦② Erfinder:  
Grosch, Hermann, Dipl.-Ing. Dr., 5603 Wülfrath, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 39 36 359 A1  
DE 35 43 793 A1  
DE 35 19 269 A1

⑤④ Verfahren und akustischer Sensor zum Bestimmen der Entfernung eines schallerzeugenden Zieles

DE 42 00 170 C 2

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und einen akustischen Sensor zum Bestimmen der Entfernung eines schallerzeugenden Zieles. Die Erfindung bezieht sich ferner auf eine Verwendung des Verfahrens zum Bestimmen der Entfernung, von sich bewegenden Rad- oder Kettenfahrzeugen und eine Verwendung des akustischen Sensors in Minen.

Aus der DE 39 36 359 A1 ist es bekannt, zur Bestimmung der Zielrichtung und -entfernung von schallerzeugenden Zielen eine aus mehreren Sensoren bestehende Sensoranordnung zu verwenden, wobei zur Zielrichtungsbestimmung akustische Sensoren eingesetzt werden. Zur Zielentfernungsbestimmung wird zusätzlich ein Seismiksensor eingesetzt, wobei eine für das Ziel charakteristische Linie im Luft- und im Bodenschallspektrum gemessen und aus der Dopplerverschiebung dieser Linien und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der entsprechenden Wellen die radiale Zielgeschwindigkeit und hieraus unter Berücksichtigung des Peilwinkels die Zielentfernung berechnet wird. Abgesehen davon, daß hierbei eine Reihe von Sensoren zur Bestimmung der Zielentfernung notwendig ist, schwankt die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Bodenschallwellen relativ zur Ausbreitungsgeschwindigkeit der Luftschallwellen je nach Bodenart stark und muß daher bestimmt werden. Hierzu wird das Kreuzspektrum der von zwei Sensoren empfangenen Signale ausgewertet.

Aus der DE 35 43 793 A1 ist ein Verfahren zur Ortsbestimmung einer stationären Knallquelle bekannt. Dabei wird ein Sensor verwendet, der zwei unterschiedliche Schallwellentypen empfängt. Die nachgeschaltete Auswerteeinheit filtert aus dem jeweiligen Empfangssignal die beiden Schallwellentypen heraus und wertet die Zeitdifferenz zwischen dem Auftreten der beiden Wellentypen aus.

Die DE 35 19 269 A1 beschreibt ein Verfahren zum Ermitteln von Fahrtzustandsdaten mittels Unterwassersensoren. Dabei werden die von dem Ziel ausgestrahlten charakteristischen Frequenzen gemessen und aus der Frequenzänderungsgeschwindigkeit die entsprechenden Fahrtzustandsdaten bestimmt.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und einen Sensor zum Bestimmen der Entfernung eines schallerzeugenden Zieles anzugeben, die einfacher und damit sicherer und schneller arbeiten.

Diese Aufgabe wird mit den Gegenständen der Ansprüche 1 und 3 gelöst.

Luftschallsignale unterliegen bei der Ausbreitung sowohl einer geometrischen, als auch einer atmosphärischen Dämpfung. Die atmosphärische Dämpfung, deren Wert frequenzabhängig ist, kann für den interessierenden Frequenz- und Entfernungsbereich vernachlässigt werden, so daß die Dämpfung im wesentlichen durch die geometrische Ausbreitungsdämpfung bestimmt wird. Dabei kann man die Ziele näherungsweise als Punktquellen (übliche Zielentfernungen bis ca. 300 m) und damit die sich ausbreitenden Schallwellen als Kugelwellen ansehen, deren Amplitude proportional  $1/r$  und deren Signalleistung proportional  $1/r^2$  abfällt. Kann das von Zielen abgestrahlte Schallspektrum als konstant für Bewegungstrecken der Ziele (Panzerfahrzeuge u. dgl.)  $< 10$  m angenommen werden, so kann über die Bestimmung der Signalleistung (Summenleistung oder spektrale Leistungsdichte) mit dem zugehörigen Phasenverlauf des Kreuzspektrums an zwei geeigneten Punkten die Entfernung des Ziels zum Sensor berechnet werden.

In Fig. 1 ist ein Ziel 1 dargestellt, das zum Zeitpunkt  $t_1$  einen Abstand  $r_1$  und zum Zeitpunkt  $t_2$  einen Abstand  $r_2$  von einem akustischen Sensor 2 (Mikrophon) hat, wobei die radiale Distanz zwischen den beiden Punkten  $\Delta r = r_2 - r_1$  ist. Durch Auswertung des Phasenverlaufs des Kreuzspektrums an den beiden Meßpunkten  $r_1$  und  $r_2$  wird  $\Delta r$  berechnet. Mit  $\Delta r$  und der Kenntnis der Signalleistungen  $P(r_1)$  und  $P(r_2)$  kann dann über das vorstehend angenommene Ausbreitungsmodell die gesuchte Zielentfernung  $r_1$  bzw.  $r_2$  aus den Signalen des einzigen Sensors 2 berechnet werden.

$S(r_2, kF_G)$  und  $S(r_1, kF_G)$  seien die bereits einer Fouriertransformation unterworfenen und daher im Frequenzraum dargestellten Schallsignale zu den Zeitpunkten  $t_2$  und  $t_1$ , wobei  $F_G$  die Frequenzauflösung und  $k$  eine Laufvariable sind. Unter der Annahme, daß das Ziel im Entfernungsbereich  $r_2, r_1$  akustisch gleichförmig abstrahlt, ergibt sich als Kreuzspektrum der Signale

$$\Phi_{KK}(kF_G) = S^*(r_1, kF_G) \cdot S(r_2, kF_G)$$

wobei  $S^*$  das konjugiert komplexe Spektrum des diskreten Spektrums  $S$  ist. Ausgewertet wird das Phasenspektrum  $\Theta(kF_G)$  des Kreuzspektrums

$$\Theta(kF_G) = \arctan \frac{\operatorname{Im}(S^*(r_1, kF_G) \cdot S(r_2, kF_G))}{\operatorname{Re}(S^*(r_1, kF_G) \cdot S(r_2, kF_G))}$$

Mit Kenntnis der Wellengeschwindigkeit, die in der Atmosphäre für Luftschallsignale näherungsweise frequenzunabhängig etwa 334 m/s beträgt, kann dann aus  $\Theta(kF_G)$  die Distanz  $\Delta r$  berechnet werden:

$$\Delta r = \frac{c_s}{kF_G} \cdot \frac{\Theta(kF_G)}{2\pi}$$

wobei  $c_s$  die Schallgeschwindigkeit ist.

Dabei ist zu beachten, daß  $\Delta r < \lambda/2$  gewählt werden sollte, da die Bestimmung der Phase über mehrere Nulldurchgänge hinweg technisch schwierig realisierbar ist. Zweckmäßig wird  $t_2 - t_1$  so klein gewählt, daß  $\Delta r < \lambda/2$  ist. Bei realen Zielen wie Panzerfahrzeugen u. dgl. sind Zielgeschwindigkeiten  $v_z < 20$  m/s zu erwarten.

Danach wird aus den beiden Signalleistungen  $P_2 = S^2(r_2)$  und  $P_1 = S^2(r_1)$  sowie  $\Delta r$  die Zielentfernung  $r_1$  (bzw.

$r_2 = r_1 + \Delta r$ ) bestimmt. Nach dem Kugelwellenmodell gilt:

$$P_1 = r_2^2 / r_1^2 P_2$$

Daraus errechnet sich dann die Zielentfernung

$$r_1 = \frac{\Delta r \cdot P_2}{P_1 - P_2} \pm \sqrt{\left( \frac{\Delta r \cdot P_2}{P_1 - P_2} \right)^2 + \frac{P_2}{P_1 - P_2} (\Delta r^2)}$$

Prinzipiell können die Ergebnisse durch verschiedene Fehler beeinträchtigt werden, beispielsweise durch nicht stationäre akustische Abstrahlung des Ziels, Ausbreitungsmodellfehler, Meßfehler usw. Jedoch zeigt eine Betrachtung der zwei in diesem Fall bestimmenden Fehler, nämlich des Ausbreitungsmodellfehlers und der fehlerhaften Bestimmung des Phasenverlaufs des Kreuzspektrums, daß in Verbindung mit Ausgleichsverfahren (Mittelungsverfahren) das beschriebene Entfernungsmessverfahren beispielsweise in der Sensorik einer Suchzürndermine geeignet ist.

Fehler des Ausbreitungsmodells führen zu einem fehlerbehafteten Ergebnis bezüglich der Entfernung, der Entfernungsfehler  $\Delta F(r_1)$  der Zielentfernung  $r_1$  als Funktion des Fehlers  $\Delta F(P_1/P_2)$  berechnet sich entsprechend

$$\Delta F(r_1) = \Delta r \frac{1}{P_1/P_2 - 1} + \frac{\Delta r}{2} \frac{2 \left( \frac{1}{P_1/P_2 - 1} \right)^3 + \left( \frac{1}{P_1/P_2 - 1} \right)^2}{\left( \frac{1}{P_1/P_2 - 1} \right)^2 + \frac{1}{P_1/P_2 - 1}} \cdot \Delta F(P_1/P_2)$$

Fig. 2 zeigt den Verlauf von  $\Delta F(r_1)/\Delta F(P_1/P_2)$  als Funktion von  $r_1$  und  $\Delta r$ .

Ein fehlerbehafteter Phasenverlauf des Kreuzspektrums führt allgemein zu einem Fehler  $F(\Delta r)$  der Strecke  $r$ . Dieser kann bezüglich der Entfernung  $r_1$  nach der Beziehung

$$\Delta F(r_1) = \frac{P_2}{P_1 - P_2} + \sqrt{\left( \frac{P_2}{P_1 - P_2} \right)^2 + \frac{P_2}{P_1 - P_2}} \cdot \Delta F(\Delta r)$$

berechnet werden. Fig. 3 zeigt den Verlauf von  $\Delta F(r_1)/\Delta F(\Delta r)$  als Funktion von  $r_1$  und  $\Delta r$ .

Bei einem mit einer entsprechenden Auswertelektronik ausgerüsteten Sensor, bei dem entsprechend den Anforderungen gegebenenfalls die ermittelten Werte einem Ausgleichsverfahren unterworfen werden, kann weiterhin die Schaltkreisanordnung zur Fourierzerlegung für die Auswertung von Signalen von Peilsensoren, die beispielsweise von dem akustischen Sensor geweckt werden, mitbenutzt werden. Die Auswertelektronik kann einen entsprechend programmierten Mikroprozessor umfassen. Der akustische Sensor kann mit niedrigem Bauvolumen versehen werden und ist robust und insbesondere zum Einsatz in Minen- und Aufklärungssensorsystemen gut geeignet.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen der Entfernung ( $r_1, r_2$ ) eines schallerzeugenden Zieles (1) von einem Sensor (2) durch Messen und Auswerten akustischer Signale mit folgenden Schritten:
  - a) es werden von dem Sensor (2) zu zwei aufeinanderfolgenden Zeitintervallen ( $t_1, t_2$ ) die Schallsignalwerte ( $S(r_1), S(r_2)$ ) des Zieles gemessen;
  - b) aus den gemessenen Schallsignalwerten ( $S(r_1), S(r_2)$ ) wird nach Fouriertransformation und der Bildung des Kreuzspektrums der Fouriertransformierten der radiale Differenzwert  $\Delta r$  zwischen den Abstandswerten ( $r_1, r_2$ ) von Ziel (1) und Sensor (2) bestimmt;
  - c) mit Hilfe des radialen Differenzwertes  $\Delta r$  und der aus den Schallsignalwerten ( $S(r_1), S(r_2)$ ) bestimmbaren Signalleistungswerten ( $S^2(r_1), S^2(r_2)$ ) wird anschließend die Zielentfernung ( $r_1, r_2$ ) unter Berücksichtigung der Beziehung

$$S^2(r_1) = r_2^2 / r_1^2 S^2(r_2)$$

ermittelt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der zeitliche Abstand zwischen den aufeinanderfolgenden Zeitintervallen ( $t_1, t_2$ ) derart gewählt wird, daß die Differenz  $\Delta r$  zwischen den Abstandswerten ( $r_1, r_2$ ) des Zieles (1) vom Sensor (2) kleiner als die halbe Wellenlänge der empfangenen akustischen Signale ( $S(r_1), S(r_2)$ ) ist.
3. Akustischer Sensor mit einer nachgeschalteten Auswertelektronik zum Bestimmen der Entfernung ( $r_1, r_2$ ) eines schallerzeugenden Zieles (1) zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Auswertelektronik eine Einrichtung zur Fourierzerlegung der empfangenen Schallsignalwerte ( $S(r_1), S(r_2)$ ) und einen Prozessor zur Bestimmung des radialen Differenzwertes ( $\Delta r$ ) der Abstandswerte ( $r_1, r_2$ ) zwischen dem Sensor (2) und dem Ziel (1) aufweist, welcher ebenfalls den jeweiligen Abstandswert ( $r_1, r_2$ ) berechnet.

4. Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2, zum Bestimmen der Entfernung von sich bewegendem Rad- oder Kettenfahrzeugen.  
5. Verwendung des akustischen Sensors nach Anspruch 3 in Minen.

5

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65



